



Risikovurdering for oversvømmelser i byer – klimadata, økonomi og usikkerheder

Halsnæs, Kirsten; Kaspersen, Per Skougaard

Published in:
Vand & Jord

Publication date:
2014

Document Version
Peer reviewed version

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Halsnæs, K., & Kaspersen, P. S. (2014). Risikovurdering for oversvømmelser i byer – klimadata, økonomi og usikkerheder. *Vand & Jord*, 21(3), 106-111.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Risikovurdering for oversvømmelser i byer – klimadata, økonomi og usikkerheder

Kirsten Halsnæs og Per Skougaard Kaspersen

Climate Change and Sustainable Development research group

Systems Analysis Division

DTU

Risikovurderinger for oversvømmelse ved ekstrem nedbør er meget usikre. Usikkerhederne stammer fra klimadata, oversvømmelsesmodeller, og fra data om samfundsmæssige aktiviteter og mulige skader. Vi præsenterer et dansk model- og datasystem og diskuterer gennem en analyse for Odense¹, hvordan usikkerheder omkring klima og økonomi kan mindskes. Dette kan give beslutningstagere et bedre overblik over vidensgrundlaget for klimatilpasning.

Introduktion

Klimaændringer kan indebære, at ekstrem nedbør bliver mere hyppig /1/, og dermed giver en forøget risiko for oversvømmelser, hvilket vi også i de senere år har set eksempler på som f.eks. oversvømmelsen i København i juli 2011 og i august 2014.

En samfundsmæssig vurdering af skader ved oversvømmelserne, og af hvor det kan betale sig at sætte ind med klimatilpasning, er kompliceret at gennemføre, da en lang række modeller og ekspertise her skal spille sammen. Det gælder om at sammenkæde geografisk detaljerede klimadata med hydrologiske modeller og skadesfunktioner for, hvad der kan blive ramt som f.eks. i et byområde. Vi har her udviklet DIAS modellen (Danish Integrated Assessment System), som er rammen for en meget omfattende database og sammenkædning af modeller dækkende lige fra klimamodeller, til geografiske informationssystemer (GIS) for samfundsmæssige aktiviteter, og til beregningsværktøjer for oversvømmelsesskader.

DIAS systemet er specielt udviklet til at understøtte analyser af klima risici indenfor en tidshorisont på 10 til 50 år. Målet er at understøtte beslutningstagning om klimatilpasning, og interessenterne kan både være planlægningsmyndigheder, forsikringsselskaber, bygherrer, borgere og andre aktører i et givent geografisk område.

Risiko

Risiko betyder i vores definition, at vi ser på konsekvenserne af en hændelse, som f.eks. oversvømmelse, og vurderer konsekvenserne koblet til sandsynligheden for hændelsen. Hvis det f.eks. gælder oversvømmelse, som i vores analyse for Odense, så ser vi på, hvad det samlet set ville koste, hvis bydele blev oversvømmet, og vi multiplicerer så omkostningen med sandsynligheden for oversvømmelsen. Sandsynligheden baseres på klimadata, hvor fremtidige nedbørshændelser med forskellige intensiteter er fremskrevet. Vi anvender et samfundsøkonomisk perspektiv, og der er derfor tale om en samlet opgørelse af

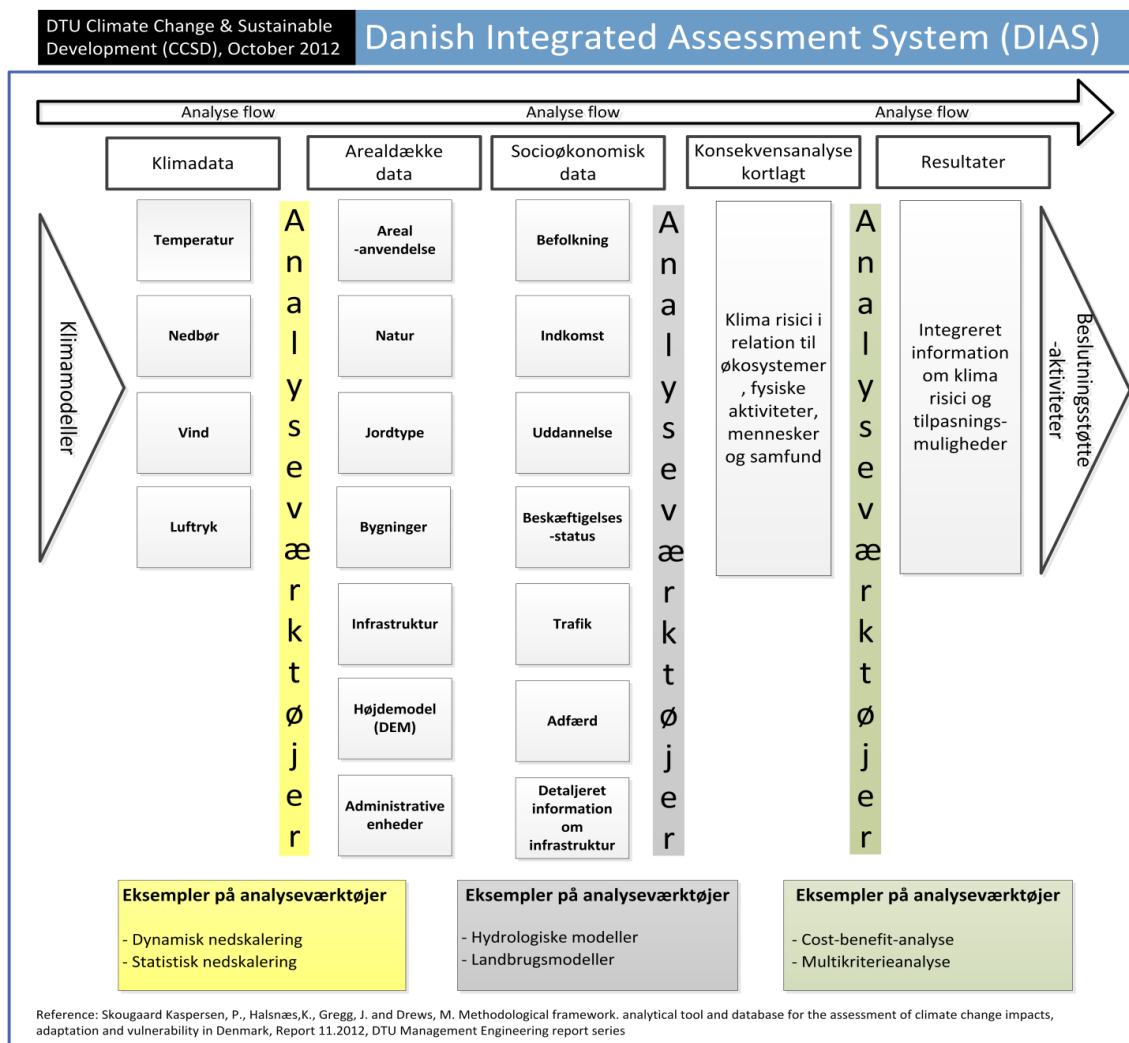
- ¹ Vi vil gerne rette en særlig tak til Carsten E. Jespersen og Sten Frandsen fra Odense kommune, som har været meget værdifulde sparringspartnere i forbindelse med vores forskningsprojekter og udarbejdelsen af artiklen.

konsekvenser for bygninger, veje, jernbaner, sundhed, erhvervsliv, natur og særlige historiske værdier.

Ideen bag DIAS systemet

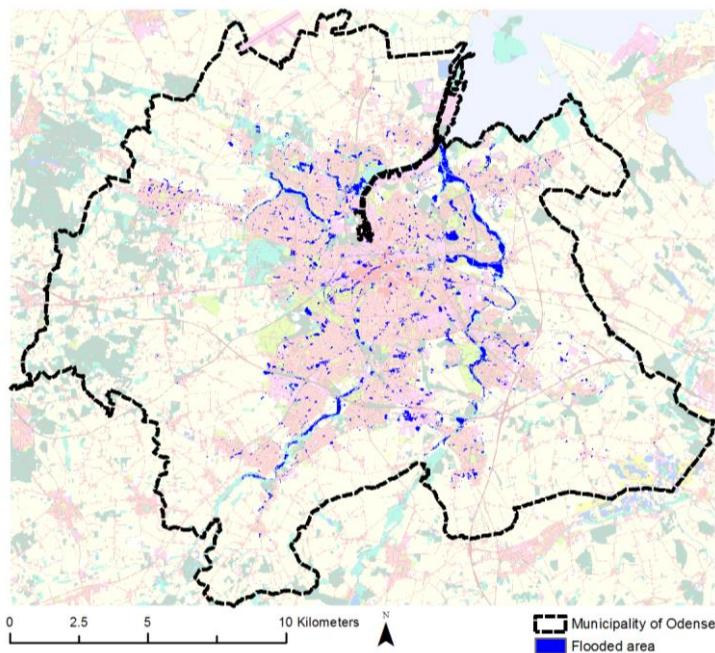
Selve udviklingen af DIAS systemet er udsprunget af et tæt forskningssamarbejde mellem DTU, DMI, GEUS, Aarhus Universitet og Københavns Universitet mellem eksperter i klima påvirkninger og økonomi, som blandt andet har fundet sted i Centre for Regional Change in the Earth System (CRES). Det har her været klart, at analyser af klima påvirkninger kræver et tæt og struktureret samarbejde mellem modelgrupper og eksperter med forskellig faglig baggrund og med adgang til omfattende arealbaserede data /2/.

DIAS systemet har på det nuværende udviklingstrin data om fremtidigt klima i Danmark, arealdata for anvendelseskategorier, grundvand, jordbundstyper, økosystemer, kritisk infrastruktur, befolkning, indkomst, bygninger, historiske mindesmærker, trafik, industri, og offentlige institutioner som skoler, børnehaver og hospitaler. Data ligger i GIS format for Danmark. Analyserne vil udover databasen skulle understøttes af f.eks. hydrologiske modeller, landbrugs- og energi modeller, kystmodeller, grundvandsmodeller, og økonomiske analyseværktøjer (Figur 1).



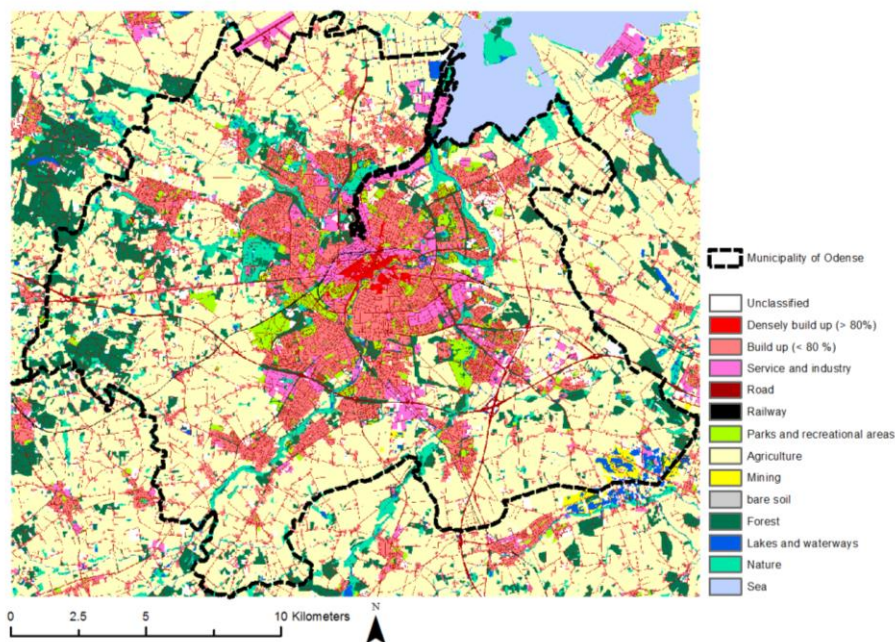
Figur 1: Oversigt over hovedelementer i DIAS systemet

Risikoanalyser for klimapåvirkninger anvender som sagt forskellige modeller, og første del af analyserne sammenkæder klimamodeller og arealdata. Når det drejer sig om vurdering af konsekvenserne af oversvømmelser sammenknyttes klimadata og hydrologiske beregninger med samfundsøkonomiske data. Det er så muligt at få et arealmæssigt overblik over mulige konsekvenser af ekstremnedbør, og et eksempel på et sådan kort for Odense er vist i Figur 2. Kortet er her blandt andet baseret på oversvømmelsesberegninger udført af VandCenterSyd som led i Odense kommunes klimatilpasningsplan /3/.



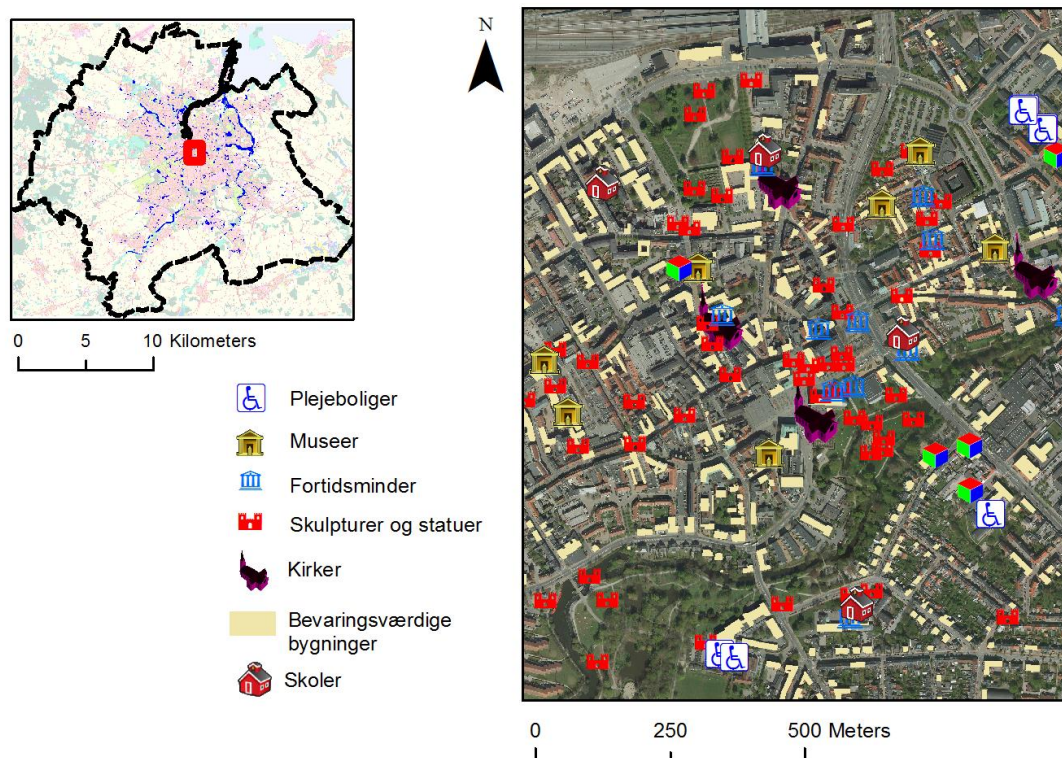
Figur 2: Oversvømmede arealer i forbindelse med et skybrud med en maksimal intensitet på 40mm/time og en total mængde nedbør på 95 mm (Odense Kommune, 2014).

Figur 2 viser med blå farve beregnede oversvømmelser i Odense by ved en ekstrem nedbørshændelse svarende til 40 mm pr. time og sammenkobling med et arealanvendelseskort for det samme område danner basis for at vurdere omkostningerne ved ekstrem regn. Arealanvendelseskortet bygger på generelle arealdata i et system udviklet af Aarhus Universitet dækkende hele Danmark /4/.



Figur 3: Arealanvendelse, Odense kommune (Levin et al., 2012)

Oversvømmede arealer i Odense omfatter veje, bygninger, infrastruktur og andre anlæg, hvor det i princippet er muligt at udbedre skader ved efterfølgende reparation, såvel som mere unikke værdier som museer, historiske mindesmærker, og økosystemer. Figur 4 viser et kort over Odense centrum, hvor en række særlige værdier som H.C. Andersens hus, historiske kirker, fortidsminder, museer og plejeboliger kan være oversvømmelsestruede.



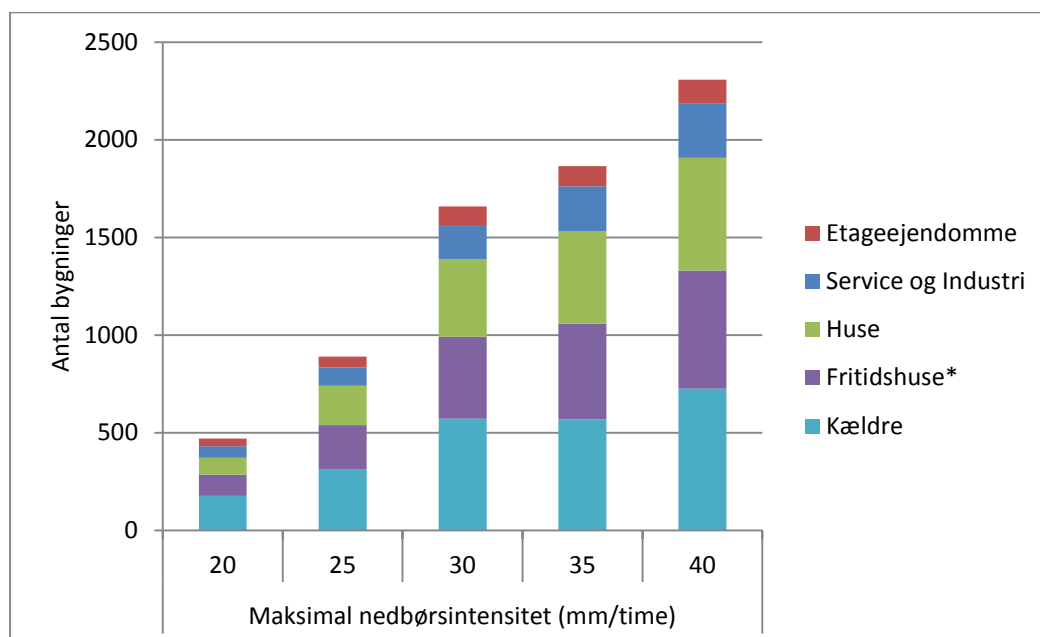
Figur 4: Kort over særlige unikke historiske og kulturelle værdier i Odense Centrum

Omfanget af oversvømmelser vil naturligvis afhænge af nedbørsintensiteten, som igen afhænger af, omfanget af fremtidige klimaændringer. I forbindelse med CRES projektets arbejde med fremtidige klimaændringer er der udarbejdet en oversigt over hyppigheden af intensive nedbørshændelser baseret på en klimamodelberegning (Tabel 1). Her stiger hyppigheden af hændelser med store nedbørsmængder når klimaet ændrer sig fra det nuværende og især ved store temperaturstigninger. Det betyder f.eks., at 30 mm nedbør pr. time, som kan give anledning til mærkbare oversvømmelser i en by som Odense, forventes at kunne ske i gennemsnit hvert tredje år over et hundrede årigt tidsforløb, hvis vi er i et forløb med globale temperaturstigninger på 4 grader eller derover.

Nedbørsintensitet		Antal hændelser pr. 100 år			
Maksimal (mm/time)	Total (mm/dag)	Nuværende klima	+2C	+4C	+6C
20	49	20	40	71	143
25	59	10	22	44	95
30	68	5	12	28	60
35	82	2	6	17	33
40	95	1	3	10	21

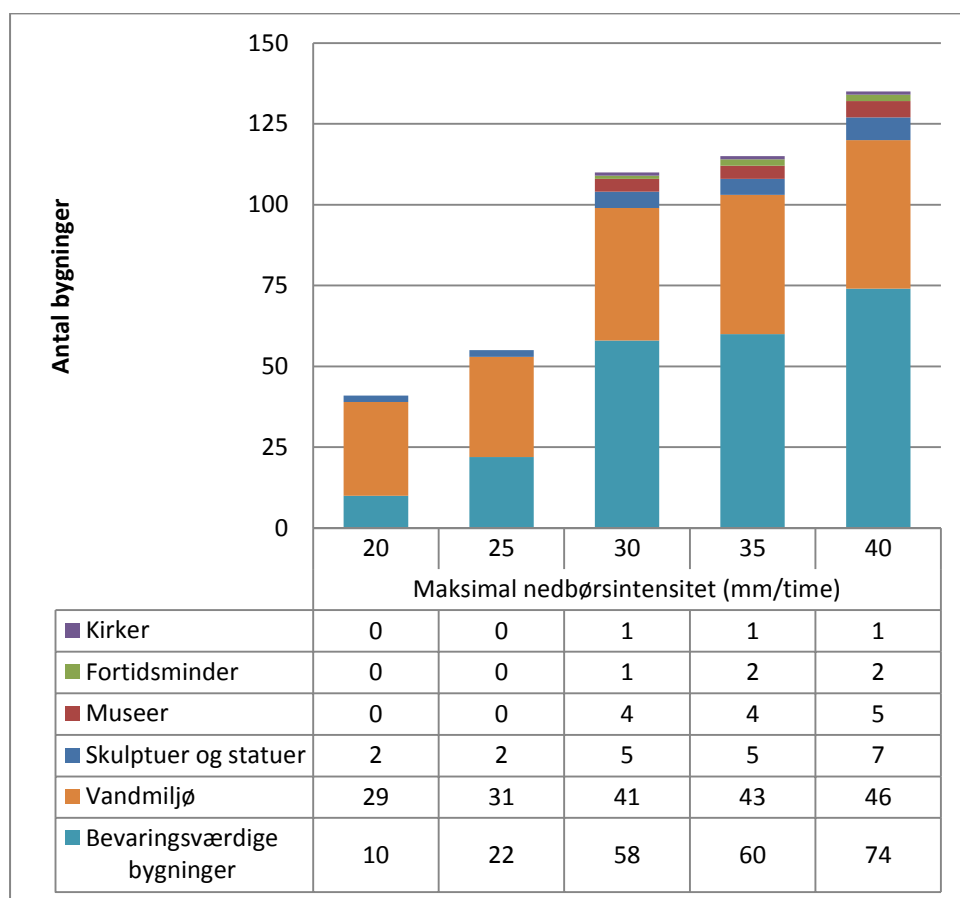
Tabel 1: Maksimal intensitet pr. time pr. dag og antal nedbørshændelser pr. 100 år for nuværende klima og fremtidigt klima svarende til globale gennemsnitlige temperaturændringer på henholdsvis 2-, 4- og 6 grader celsius

Aktiviteterne og værdierne, som forventes at kunne blive berørt af intensiv nedbør i Odense er illustreret i Figur 5 og Figur 6. Det fremgår, at over 1500 bygninger kan blive oversvømmet i Odense ved 30 mm nedbør pr. time, og en øget intensitet på op til 40 mm pr. time vil udsætte over 2300 bygninger for oversvømmelse. Samtidig vil et stort antal bevaringsværdige bygninger og også museer, kirker og andre mindesmærker være udsatte.



Figur 5: Antal bygninger som kan blive oversvømmet i Odense kommune ved skybrud med varierende nedbørsintensitet.* Fritidshuse dækker primært over garager, carporte, udhuse og

drivhuse. En bygning er kategoriseret som værende oversvømmet ved 20 cm overfladevand mens der skal 5 cm til at oversvømme en kælder.



Figur 6: Antal bevaringsværdige bygninger, andre uerstattelige værdier og vandmiljøer som oversvømmes i Odense kommune ved skybrud med varierende nedbørsintensitet.

Omkostninger ved oversvømmelser

Omkostninger ved oversvømmelser kan beregnes ved at sætte tal på økonomiske tab for de fysiske påvirkninger, se arealanvendelseskort i Figur 2 og 3. Det er vanskeligt at fastsætte præcise værdier for økonomien, da vi i Danmark heldigvis endnu ikke har været berørt af så mange alvorlige oversvømmelser. Vi tager her udgangspunkt i de skadesomkostninger, som er indberettet til forsikringsselskaberne i forbindelse med oversvømmelsen i København i 2011. En anden begrænsning i opgørelsen af omkostninger er, at visse påvirkninger i sagens natur er vanskelige at opgøre økonomisk. Hvad er f.eks. samfundets tab ved, at H.C. Andersens hus i Odense beskadiges eller ved, at et barn udsættes for alvorlig infektion fra bakterier i kloakvand?

Der er flere forskellige metoder til at estimere omkostningerne i forbindelse med oversvømmelser fra skybrud i byområder. Metoderne omfatter konsekvensberegninger med udgangspunkt i modeloutput fra oversvømmelsesmodeller og anvendelse af forsikringsdata. Vi præsenterer her et eksempel på førstnævnte. Konsekvensanalyser baseret på modeloutput bygger på en kortlægning af risikoen for oversvømmelser i forbindelse med nedbørshændelser med forskellige intensiteter (Figur 5 og 6). I vores eksempel fra Odense har vi benyttet os af kommunens kortlægning, som er foretaget i

forbindelse med tilblivelsen af deres klimatilpasningsplan fra 2014 /3/. Ved at kombinere oversvømmelseskortene med relevant information om arealanvendelse er det muligt at estimere potentielle omkostninger ved forskellige nedbørshændelser. Fra oversvømmelseskortene for Odense kender vi den maksimale vanddybde for alle områder i byen ved forskellige nedbørshændelser, og vi forudsætter at omkostningerne stiger lineært med den maksimale vanddybde (Tabel 2).

	Maksimal vanddybde							
Bygninger	<i>10cm</i>	<i>20cm</i>	<i>30cm</i>	<i>40cm</i>	<i>50cm</i>	<i>60cm</i>	<i>70cm</i>	
Service og industri	520,632	1,041,264	1,561,896	2,082,529	2,603,161	3,123,793	3,644,425	DKK/bygning
Fleretage-ejendomme	341,709	683,418	1,025,127	1,366,836	1,708,545	2,050,254	2,391,962	
Huse	125,000	250,000	375,000	500,000	625,000	750,000	875,000	
Fritidshuse	6,250	12,500	18,750	25,000	31,250	37,500	43,750	
Kældre	<i>2.5cm</i>	<i>5cm</i>	<i>10cm</i>	<i>15cm</i>	<i>20cm</i>	<i>30cm</i>	<i>50cm</i>	
	66	132	264	397	529	793	1,322	DKK/m ²
Veje	<i>2.5cm</i>	<i>5cm</i>	<i>10cm</i>	<i>15cm</i>	<i>20cm</i>	<i>30cm</i>	<i>50cm</i>	
	66	132	264	397	529	793	1,322	DKK/m ²
Jernbaner	330	661	1,321	1,982	2,642	3,963	6,605	
Helbred	<i>0.15cm</i>	<i>0.3cm</i>	<i>1cm</i>	<i>5cm</i>	<i>10cm</i>	<i>20cm</i>	<i>50cm</i>	
	81	162	541	2,707	5,415	10,829	27,073	DKK/person
Vandmiljø	<i>10cm</i>	<i>20cm</i>	<i>30cm</i>	<i>40cm</i>	<i>50cm</i>	<i>60cm</i>	<i>70cm</i>	
	125,000	250,000	375,000	500,000	625,000	750,000	875,000	€/sø el. vandløb
Uerstattelig aktiver	<i>10cm</i>	<i>20cm</i>	<i>30cm</i>	<i>40cm</i>	<i>50cm</i>	<i>60cm</i>	<i>70cm</i>	
Monumenter	250,000	500,000	750,000	1,000,000	1,250,000	1,500,000	1,750,000	DKK/bygning
Kirker	2,500,000	5,000,000	7,500,000	10,000,000	12,500,000	15,000,000	17,500,000	
Bevaringsværdige bygninger	250,000	500,000	750,000	1,000,000	1,250,000	1,500,000	1,750,000	
Statuer og skulpturer	250,000	500,000	750,000	1,000,000	1,250,000	1,500,000	1,750,000	
Museer	250,000	500,000	750,000	1,000,000	1,250,000	1,500,000	1,750,000	

Tabel 2: Skadesomkostninger ved forskellige oversvømmelsesniveauer: Skadesomkostninger ved forskellige oversvømmelsesniveauer

Forudsætningerne for udregning af skadesomkostningerne er baseret på forskellige kilder, og konsekvensen heraf er at omkostningsberegningerne er behæftet med relativ stor usikkerhed. En kort oversigt over baggrunden for omkostningerne er givet i Box 1.

Bygninger, kældre, veje og jernbaner

Omkostningerne ved oversvømmelser af veje, jernbaner og kældre er baseret på tal fra Odense kommunes klimatilpasningsplan /3/. Det er forudsat, at skader begynder ved overfladevand på 2,5 cm, skaden sættes her f.eks. for veje til 66 kr./m². Herefter stiger skadesomkostningen lineært indtil en maksimal omkostning nås ved 50 cm overfladevand (eks. veje: 1322 kr./m²). For bygninger forudsættes, at der sker en skade ved 10 cm overflade vand, og at det maksimale skadesniveau svarer til 70 cm overfladevand /5/ /6/ og /7/.

Helbred

Helbredsomkostninger er baseret på antallet af personer, som er i kontakt med den blanding af regnvand og spildevand, som flyder op fra kloakkerne ved oversvømmelser. Vi er her gået ud fra antal oversvømmede kældre, og det antages, at gennemsnitlig 1,8 person er i kontakt med forurennet vand for hver oversvømmet kælder /5/. Vi forudsætter, at skader kan ske allerede ved en vanddybde på 15 mm, da kontakt med kun en meget lille dosis forurennet vand er nok til at forårsage helbredsproblemer. Helbredsomkostningerne stiger herefter lineært op indtil en maksimal skadeomkostning ved 500 mm.

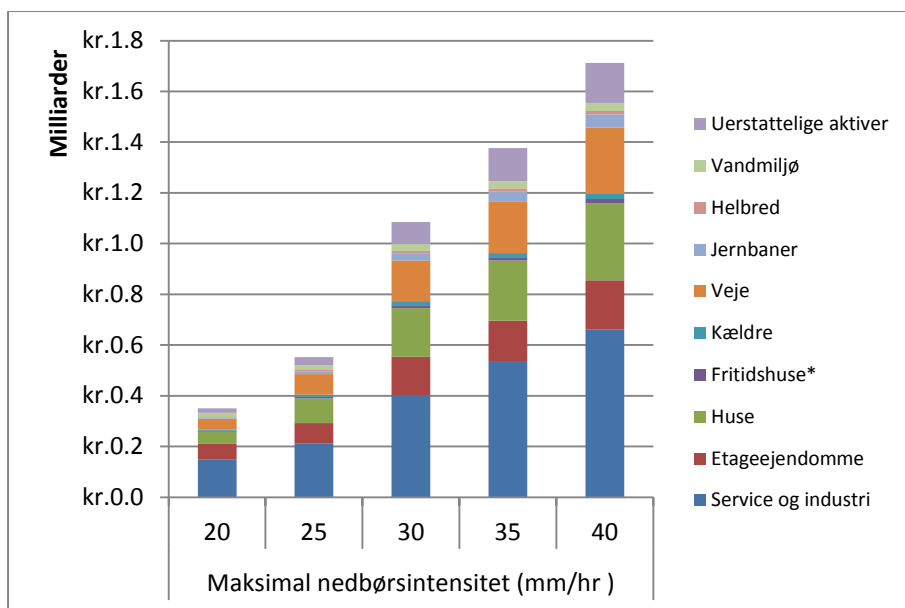
Vandmiljø

Skadesomkostningen på vandmiljø er udregnet som antallet af vandløb og søer som bliver påvirket af spildevand i relation til de enkelte nedbørshændelser /5/.

Bevaringsværdige bygninger og andre mindesmærker

Som for bygninger gælder det at der skal 10 cm overfladevand til at påføre en skade på de uvurderlige aktiver. Enhedsomkostningen for uerstattelige aktiver er svær at vurdere da disse ikke umiddelbart kan erstattes eller genopbygges til deres oprindelige stand /3/. Herudover er der for disse aktiver en stor grad af subjektivitet forbundet med deres faktiske samfundsværdi. Der er for eksempel stor forskel på hvor meget forskellige individer værdsætter kirker, museer etc. Af denne grund er der meget stor usikkerhed forbundet med udregningen af skadesomkostningerne for denne kategori. De anvendte skadesomkostninger til denne analyse er baseret på /3/.

Box 1: Oversigt over anvendte metoder til omkostningsberegninger



Figur 7: Skadesomkostninger i Odense ved skybrud med varierende nedbørsintensitet

Som det fremgår af Figur 7 skønnes det, at omkostningerne ved intensiv nedbør i Odense vokser kraftigt ved overskridelse af nedbør 25 mm pr. time. Den største kategori af skader opstår for service og industribygninger, og dernæst følger skader på individuelle huse, veje og etageboliger. Selve værdisætningen af bevaringsværdige bygninger og andre mindesmærker er som sagt meget usikker, så sådanne skader kan vurderes, som værende mindst lige så vigtige som andre områder.

Beslutningstagning og usikkerheder

Et vigtigt formål med beregninger af omkostninger ved klimapåvirkninger er at understøtte beslutningstagning, som f.eks. i forbindelse med kommunernes udarbejdelse af planer for klimatilpasning. Her drejer det sig om at vurdere, hvilke skader, som er acceptable for borgerne, erhvervslivet og samfundet, og om hvad det kan betale sig at investere i at undgå skaderne.

Som tidligere omtalt er der en række usikkerheder forbundet med beregningerne, som er knyttet til alle de beregningstrin, som indledningsvis blev illustreret i **Error! Reference source not found.** De omfatter selve klimafremskrivningerne, nedskalering til et detaljeret geografisk niveau, fysiske beregninger af påvirkninger som f.eks. oversvømmelser, og også vurderingen af skadesomkostninger.

I forbindelse med beslutningstagning om investering i klimatilpasning kan det være værd at prøve at indsnævre, hvilke usikkerheder, som det er vigtigst at fokusere på ved en given beslutning. Disse usikkerheder er naturligvis afhængige af, hvilken specifik klimapåvirkning, der er i fokus. Mere konkret kan beregninger af konsekvenser af intensiv nedbør fokusere på usikkerheder, som har særlig betydning for klimatilpasningstiltag ved oversvømmelser i byer. Sådanne klimatilpasningstiltag kan omfatte:

- Investeringer i kloakanlæg, som er omkostningstunge og har en lang levetid på op til 100 år.

- Investeringer i regnvandsbassiner, som er relativt billige, og som måske kan kombineres med udvidelse af grønne områder.
- Specifikke beskyttelser af særligt bevaringsværdige områder med mindre omkostninger.
- Vandafledningskanaler for områder som f.eks. veje af varierende økonomisk omfang.
- Beskyttelsesforanstaltninger i huse og andre bygninger af mindre økonomisk omfang.

Særligt store og langsigtede investeringer som ved kloakanlæg er afhængige af en høj grad af pålidelighed i fremskrivninger af klimaet og lokal nedskalering af nedbør, og her vil en høj grad af usikkerhed kunne pege på, at det kunne være mere attraktivt at satse på nogle af de andre tilpasningsmuligheder, som har en mindre omkostning her og nu, og som på en mere fleksibel måde kan skaleres op og videreudvikles over tid i tråd med, at den tilgængelige viden om klimaændringer forventes at vokse.

Modsat vil fremskrivninger af samfundsmæssige aktiviteter, som f.eks. en bys udvikling blive mere usikre over tid, hvilket kan pege på, at byens udviklingsmuligheder og struktur skal holdes åben, og det vil på samme måde som klimausikkerheden pege på, at store irreversible investeringer skal suppleres med andre tilpasningstiltag, som på en mere fleksibel måde kan skaleres op og ned over tid.

Referencer

- /1/ IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
- /2/ Skougaard Kaspersen, P., Halsnæs, K., Gregg, J., Drews, M., 2012. Methodological framework, analytical tool and database for the assessment of climate change impacts, adaptation and vulnerability in Denmark (No. Report 11.2012), DTU Management Engineering Report Series.
- /3/ Odense Kommune, 2014. Klimatilpasningsplan 2014 - Baggrundsrapport til Kommuneplantillæg nr. 1.
- /4/ Levin, G., Rudbeck Jepsen, M., Blemmer, M., 2012. Basemap - Technical documentation of a model for elaboration of a land-use and land-cover map for Denmark, Technical report from DCE - Danish Centre for Environment and Energy No. 11. Aarhus Universitet - Danish Centre for Environment and Energy.
- /5/ Zhou, Q., Mikkelsen, P.S., Halsnæs, K., Arnbjerg-Nielsen, K., 2012. Framework for economic pluvial flood risk assessment considering climate change effects and adaptation benefits. J. Hydrol. 414-415, 539–549. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.11.031

- /6/ Arnbjerg-Nielsen, K., Fleischer, H.S., 2009. Feasible adaptation strategies for increased risk of flooding in cities due to climate change. Water Sci. Technol. 60, 273. doi:10.2166/wst.2009.298
- /7/ Forsikring og Pension 2014: Hjemme besøgt Juni 2014.
http://www.forsikringogpension.dk/presse/Statistik_og_Analyse/statistik/forsikring/erstatninger/Sider/Erstatninger_for_vandskader.aspx

Kirsten Halsnæs er professor i klima og økonomi ved DTU Management. Hun har mere end 20 års erfaring i international klimaforskning og har spillet en ledende rolle i FN's klimaekspertpanel IPCC. Hendes publikationer omfatter en lang række internationale tidsskriftsartikler og danske bidrag, og derudover har Kirsten været meget aktiv i dansk klimadebat og kommunikation.

Per skougaard Kaspersen er PhD studerende ved DTU Management. Pers PhD projekt omhandler byudviklingens indflydelse på storbyers sårbarhed overfor ekstreme vejrhændelser, herunder skybrud. Per er uddannet geograf fra Københavns Universitet.